

国際協力事業団

カンボディア王国
鉦山エネルギー省 (MIME)
カンボディア電力公社 (EDC)

カンボディア王国

シアヌークヴィル・コンバインドサイクル
発電開発計画調査

最終報告書

(附属書)

2002年1月

株式会社 ニュージェック

鉦調資

J R

02-009

カンボディア国
シアヌークヴィル・コンバインドサイクル発電開発計画調査

最終報告書

附属書

目次

1. サイト域関連のその他のデータ / 情報および調査	1 - 1
1.1. シアヌークヴィル港とSokimex石油ターミナル間の道路状態	1 - 1
2. 地形, 地質, 水文, 海底地形, 海底地質および海象調査の結果	2 - 1
2.1. 地形測量	2 - 1
2.2. 地質調査	2 - 4
2.3. 水文調査	2 - 13
2.4. 深浅測量	2 - 20
2.5. 海底地質調査	2 - 22
2.6. 海象調査	2 - 25
3. 環境ベースライン調査結果	3 - 1
3.1. 土地利用調査と利用地図の作成	3 - 3
3.2. 人口調査	3 - 4
3.3. 社会経済調査	3 - 6
3.4. 考古学的調査	3 - 9
3.5. 陸上生物生態調査	3 - 9
3.6. 水質と水生生物生態調査	3 - 11
3.7. 海洋生物生態系および漁業調査	3 - 14
3.8. 大気性状および騒音調査	3 - 18
3.9. 温排水拡散シミュレーション	3 - 19
3.10. 排ガスの拡散計算	3 - 24
- 図表集 : 第2章	
- 図表集 : 第3章	
- 図面集 : 第2章	

1. サイト域関連のその他のデータ / 情報および調査

1. サイト域関連のその他のデータ / 情報および調査

1.1. シアヌークヴィル港と Sokimex 石油ターミナル間の道路状態

シアヌークヴィル港から Sokimex 石油ターミナル間の道路は、主にアスファルト舗装で、2車線となっており、もし下記に示す道路の改良がなされるならば、建設中および運用期間での交通に対して問題はない。

- B-5 地点の橋は長さ 20 m , 幅員 9.3 m で、コンクリート橋であるが、コンクリートの劣化により桁の鉄筋が露出している箇所があり、修理が必要。
- B-3 と B-4 地点の排水管が部分的に損傷を受けており、修理が必要。
- B-2 から B-5 区間の道路は、舗装が破損している箇所が散在しており、修理が必要。

Fig.1.1-1 にシアヌークヴィル港と Sokimex 石油ターミナル間の排水管, 橋梁の位置を示す。

この結果、シアヌークヴィル港とサイト域間の道路は、建設期間中の仮設資材, 建設器材, 重量機器の輸送に対して使用可能であるが、B-4 ~ B-4A 内の極度の破損した道路舗装, 基礎の修理に加えて、特に B-5 地点の橋梁と B-3 ~ B-4 地点の排水管の修理が依然として必要である。

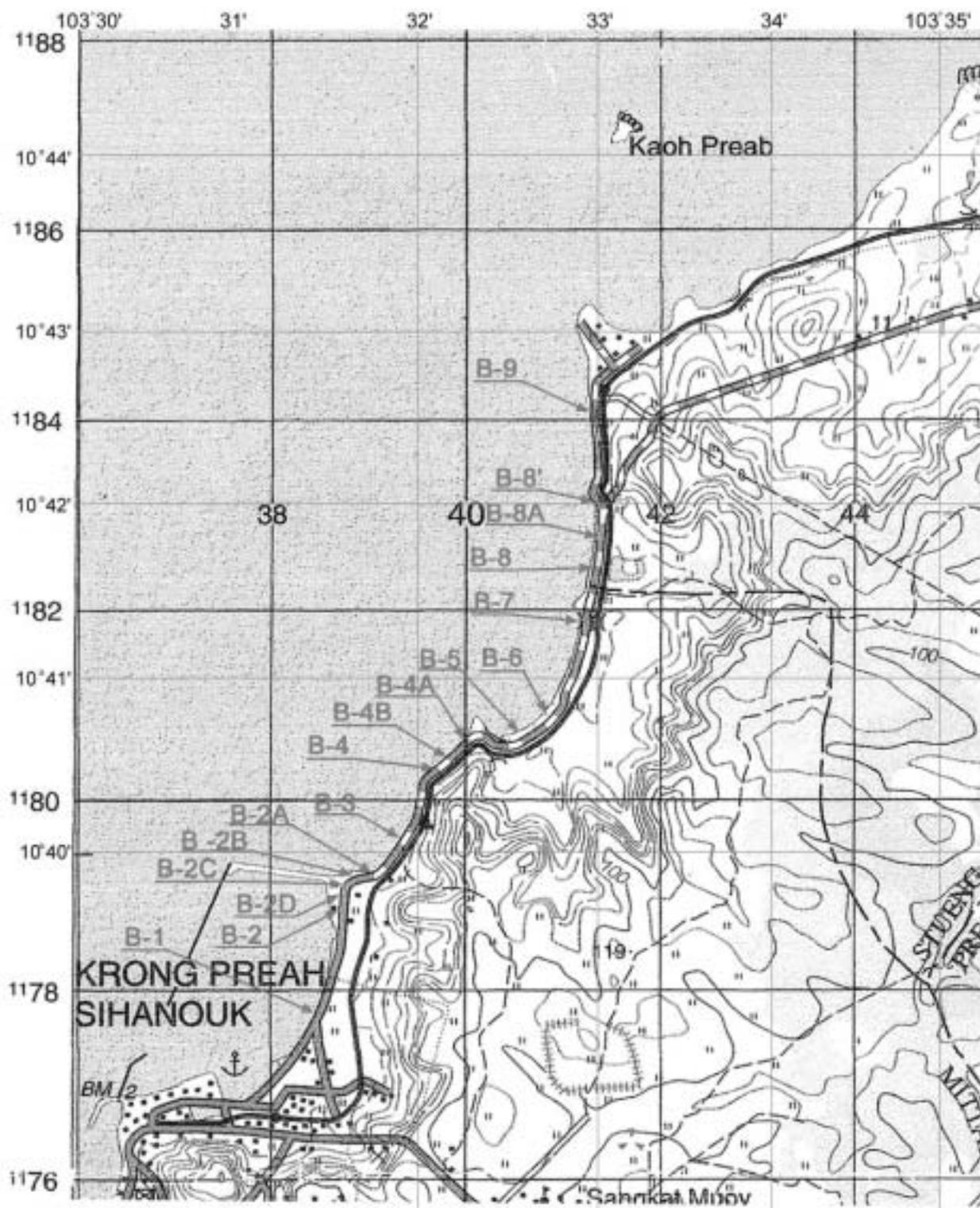


Fig.1.1-1 Location of Drain Pipes and Bridges

Table 1.1-1 Field Survey Results on Drain Pipes and Bridge between Sihanoukville Port and Sokimex Oil Terminal

No.	Structure	Unit	Dia. (m)	Remark
B-1	D.P.	4	0.8	
B-2	D.P.	5	1.4	
B-2D	D.P.	1	0.8	
B-2C	D.P.	1	0.8	
B-2B	D.P.	1	1.0	
B-2A	D.P.	3	1.5	
B-3	D.P.	1	1.0	Eroded at connection part
B-4	D.P.	2	0.6	Pipes disconnected
B-4B	D.P.	1	1.3	
B-4A	D.P.	1	0.6	
B-5	Bridge	-	-	W=9.3 m, L=20 m, Slub concrete severe erosion, re-bar appears
B-6	D.P.	1	1.0	
B-7	D.P.	3	1.4	
B-8	D.P.	5	0.8	
B-8A	D.P.	2	0.8	
B-8'	D.P.	2	0.9	
B-9	D.P.	2	-	

D.P. = Drain Pipe



Fig.1.1-2 Road Condition around B-4 ~ B-4A

2. 地形，地質，水文，海底地形，海底地質 および海象調査の結果

2. 地形，地質，水文，海底地形，海底地質および海象調査の結果

2.1. 地形測量

2.1.1. はじめに

地形測量は以下に示す作業範囲の業務を実施したものであり、カボディア国シアヌークヴィルにおけるコンバインドサイクルガスタービン（CCGT）火力発電所のフェージビリティ調査の一環として行われた。プロジェクトサイトの位置を Drawing CB-21 に示す。

2.1.2. 作業の範囲

(1) GPS 基点測量

- (a) 地形的に整合のとれた GPS 基点網を作りカンボディア国の測地ネットワークシステム中の、シアヌークヴィルにある既存の基準点から水平および鉛直の基準点をプロジェクトサイトと Hun Sen Dam へ移した。
- (b) プロジェクトサイトの詳細測量のために、カンボディア国測量ネットワークと上記 GPS 基準点ネットワークに接続した。

(2) 地形測量

- (a) 現地測量および地形図作成

以下の2種類の縮尺の地形図を作成した。

- 約 0.5 km² の広さで 1 m 間隔の等高線を持つ縮尺 1:1,000 の地形図
- 約 0.25 km² の広さで 0.5 m 間隔の等高線を持つ縮尺 1:500 の地形図

地形測量の範囲を Fig.2.1-1 に示す。

- (b) 水平および鉛直基準点をカンボディア国測量ネットワークの中の既存の基準点と接続した。

2.1.3. 方 法

(1) GPS 基準点測量

(a) 水平および鉛直基準点測量

カンボディア測量網の基準高を用いてプロジェクトサイト内に水平および鉛直の基準点を設置した。鉛直基準面は Hatien (ヴィエトナム) での平均潮位 MSL を用いた。

シアヌークヴィル港では「シアヌークヴィル港緊急修復プロジェクト」のために 2000 年 5 月に 14 個所の測量基準点が設置された。これらの基準点はカンボディア国測量ネットワークシステムを用いて GPS 測量により設置された。本調査での測量ネットワークシステムは Drawing CB-22 に示されるようにシアヌークヴィル港の道路交差点にある CB-11 基準点と接続した。

(b) GPS 受信局

GPS 測量は、水平および鉛直基準点をプロジェクトサイトに移す時は、静的差モードで行われた。測量は衛星の配置から決る最小 GDOP の時期に実施した。将来の利用を考えて永久基準点を対で設置した。全部で 8 地点 (CB-20 ~ CB-27) を Drawing CB-22 に示すように設置した。それぞれの座標を Table 2.1-1 に示す。

(c) データ解析

GPS データは後処理を行う。WGS84 基準座標での最終の GPS データはカンボディア基準面に変換され、UTM グリッドシステムでの座標とヴィエトナムの Hatien での平均潮位を基準として標高に変換される。

(2) 地形測量

(a) 測量範囲

予定されているサイトでの予備現地調査に基づき、地形測量の範囲を最終的に決定した。

(b) 詳細測量

トータルステーション“Sokkia Set2C”を既存の基準点に設置し、現地での測量データをメモリに記録し、コンピュータにダウンロードした。

主な目標、クリーク、道路、鉄道等を全て測量し、地形図作成に十分な点数の標高点を計測した。

(c) 地形図

測量データはマイクロコンピュータに移され、全ての点の座標および標高をアスキー形式で計算した。

2.1.4. 結 果

地形測量結果の図面を Drawings CB-24-1 ~ CB-26-5 に示す。図面のリストを Table 2.1-2 に示す。

2.1.5. 技術的評価および考察

発電所サイト内および周辺の地形測量は順調に行われた。サイトの地形は、南側は一般的に平坦で標高 1 ~ 8 m，地形勾配は約 1/70（東西方向）となっている。北部および東部の端は山で囲まれ、緩勾配から次第に急勾配へと変化する。サイトの南側は池が広がり、2本の池に流入するクリークがサイト内を横切る。

2.2. 地質調査

2.2.1. はじめに

地質調査は、シアヌークヴィルコンバインドサイクル発電開発計画フェージビリティ調査の一環として行われた。予定プロジェクト地域は Fig.2.2-1 に示される。

調査により 180 MW の火力発電所の建設のためのサイトの適性を確認するために必要な地質情報を得て、上部の重量構造物の支持のための十分な支持力と長期安定性の検討に用いる。

2.2.2. 業務範囲

地質調査は以下の 3 項目から成る。

- ボーリング
- 試験室での試験
- 大地比抵抗測量

(1) ボーリング

以下の作業を行った。

- 合計 7 地点のボーリング実施 (全長 : 143.15 m , 土 : 96.57 m , 岩 : 48.56 m)
- 土と岩の連続した全コアを採取し、5 つの不攪乱試料採取
- 1 m 毎の標準貫入試験の実施
- 6 地点での透水試験の実施
- 5 地点での地下水位計測用の観測井の設置

(2) 試験室での試験

採取した試料を用いて物理試験および強度試験を実施した。

物理試験	:	土	41 試料	岩	7 試料
強度試験	:	土	5 × 3 = 15 試料	岩	7 試料

(3) 大地比抵抗計測

Wenner 法によりサイトエリア内の大地比抵抗分布を測定した。

2.2.3. 方 法

(1) ボーリング

ボーリングは2000年9月14日から同年10月10日に行われた。必須の5地点と追加2地点の計7地点のボーリングを行った。観測井はこれらのボーリング孔地点で設置した。各ボーリングの位置は Fig.2.2-2 に示される。

ボーリング作業と同時にサンプリングならびに試験等の作業を行った。ボーリング作業の一覧を Table 2.2.-1 に示す。

(a) 削 孔

削孔はモデル TONE TDC-1 のロータリードリリング機械により行った。水循環方式を用いた。ドリルロッド先端に直径約3インチの急速ドラッグビットを取付け、ボアホールを切削して進んで行く方式となっている。

水をポンプ (NA-60) により強制的にドリルロッドとビットに送込み切削くずを地上に戻す。ドリルビットは土試料が必要な深さに達した時にサンプラーに取替える。孔壁削壊を防ぐため、ケーシングパイプ (HQ サイズまたは ID31/16 インチのパイプ) を岩盤面までの深さに設置した。

土のオールコアサンプリングは標準貫入試験で用いるスプリットスプーンサンプラーにより行った。

(b) 不攪乱試料採取

試験室での試験に適した比較的乱されない土試料をシンウォールチューブを用いて採取した。これは内径75mm, 外径78mm, 長さ1mのステンレスチューブ製で、引上げ時に土試料が洗い流されない様に鋼球チェックバルブが先端に取付けられている。

所定の深さに達したときに、孔壁を洗浄した後、サンプラーを直径44.5mmのドリルロッドの先端に取付け、サンプラーチューブを孔底に降ろす。サン

ブローチューブは回転することなしに土層をドリリング機械の水力により突進む。推進長は土層の抵抗力や状態により決るが、砂層では管径の 5 ~ 10 倍以内とし、粘土層では 10 ~ 15 倍以内とする。シンウォールチューブによる UD サンプラーは Fig.2.2-3 に示される。

特に、非常に柔らかい粘土や粘着性のない土の場合にはピストンランブラーが適用される。サンプラーは採取管（内径 75 mm のステンレス管）、内部ピストンとピストンと外側のロッドとを繋ぐロッドから成る。

所定の深さにおいて孔壁を洗浄した後、サンプラーヘッドをドリルロッドの先端に取付ける。ピストンは UD チューブの内側にインナーロッドにより固定される。インナーロッドはドリルロッドを通じて上向きに挿入され、フックで吊下げられる。チューブがドリリング機械の水力により土層を押し進んでいる間、ピストンは停止している。チューブが採取長を押し進んだ後、回転して土とチューブの外壁との間のサクションを解放する。サンプラーは地上に引上げられ、ピストンが取出される。ピストンによる UD サンプリングを Fig2.2-4 に示す。

サンプラーを地上に引上げた後、すばやく UD 管の両端を洗浄し、水分の損失を避けるためにワックスで固定し、試験室での試験まで開けない。UD サンプリングは 1 m 間隔で実施した。

(c) 標準貫入試験

スプリットバレルサンプラーによる代表的な土試料の採取と、サンプラーの貫入に必要な打撃数から得られる土の抵抗力を決定する試験である。

ドリルロッド（径 44.5 mm）に取付けた外径 51 mm のスプリットバレルを所定の深さの孔底に設置する。地上にあるドリルロッドの上端は、自由落下ハンマーにより固定される。ハンマーの重量は 63.5 kg で、落下高は 76 cm である。スプリットバレルはハンマーの落下による圧力で土層を貫入する。ハンマーはドリリング機械のワイヤーロープによりガイドに沿って持上げられ、76 cm の高さに達したときに自動的に落下する。

ハンマーは打撃板を打ちスプリットバレルが土層を突進む。土の N 値は 1 フィート当りの打撃数で表される。標準貫入試験の機械を Fig.2.2-5 に示す。

(d) 岩削孔

ボーリング試料もしくは SPT により岩盤に達したことが判れば、NWM コアバレル（コア径 2 1/8”）が岩削孔を行うために取付けられる。

全コアが採取され白蟻駆除のコア箱に保管されている。

(e) 透水試験

透水試験は、各孔の帯水層で常に水位を一定に保つ定水位法により実施した。水位をある時間内で一定に保つために必要な水量から透水係数が計算される。孔壁はケーシングなしで試験前に洗浄しておく。

透水係数は次式で算出される。

$$K = \frac{2.30}{2\pi H_p L} \log(L/rw)$$

ここに、K：試験区内の透水係数 (cm/sec)，Q：試験区間内の流量 (cm³/sec)，注入量 (cc) / 経過時間 (sec) から算出する。L：試験区長 (cm)，rw：孔の径 (cm)，Hp：水頭または地下水位と孔内水位との差 (cm)

定水位法の模式図を Fig.2.2-6 に示す。

(f) 観測井

ボーリング作業の終了後、ボーリング孔での観測井を設置した。PVC 管（径 2”）に地下水位計測のため帯水層相当区間にスリットを施したものを設置した。パイプの地上部 0.5 m は 4 インチのキャップのついた鉄製のパイプで保護し 50 × 50 × 50 cm のコンクリートの台に固定した。コンクリート表面に孔の表示を Fig.2.2-7 のように行った。観測井の断面図を Fig.2.2-8 に示す。

(2) 試験室での試験

試験項目は以下の通りである。

(a) 土の物理試験

- 含水比
- 単位体積重量

- 比重
 - 粒度分析
- (b) 土の強度試験
- 圧密排水三軸圧縮試験 (CID)
- (c) 岩の物理試験
- 含水比
 - 単位体積重量
- (d) 強度試験
- 一軸圧縮試験

試験は ASTM に従って行い土質分類は、統一分類法 USCS (United Soil Classification System) によって行った。

(3) 大地比抵抗測定

現地計測は 2000 年 9 月 21 日から 10 月 17 日に行った。試験は Table 2.2-2 に示す 40 点で行った。測点位置を Fig.2.2-2 に示す。

(a) Wenner 法

Wenner 法では 4 つの局を等間隔で一直線上に配置する。電極間の間隔は配置間隔 a で表される。

この場合 (見かけの) 抵抗値は次式で算出できる。

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

ここに、 ρ : 見かけ大地比抵抗 (ohm·m), a : 電極間隔 (m), ΔV : 測定電圧 (V),
 I : 測定電流 (A)

試験において電極は Fig.2.2-9 のように配置した。電線と電極は a の各値に対して 120 m まで伸ばし、 a の値が 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 80, 90, 100, 110 m および 120 m に対して抵抗値を読取った。抵抗値は上式により比抵抗 (ohm·m) で算出される。その後、比抵抗値と a との関係を表対数紙にプロットした。見かけの土と岩の比抵抗を決定するためのデータ

解析を各深さに対して行った。

2.2.4. 結 果

(1) ボーリング

各孔での地質柱状図を Figs.2.2-10(1) ~ (10)に示す。

(2) 試験室での試験

(a) 物理特性試験

物理特性の試験結果を Tables 2.2-3(1) ~ (3)に示す。

(b) 三軸圧縮試験

圧密排水三軸圧縮試験の結果を Table 2.2-4 にまとめて示す。

(c) 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験の結果を Table 2.2-5 に示す。

(d) 透水試験

透水試験の結果は Table 2.2-1 に併記している。

(3) 大地比抵抗試験

サイトエリア内での代表点での大地比抵抗の値を Table 2.2-6 にまとめて示す。各測点の位置は Fig.2.2-2 に示す通りである。

2.2.5. 技術的評価および考察

(1) サイトの一般地質

サイトの一般的な地形は、比較的低い高さ 100 ~ 211 m のピークを持つ起伏で作られている。ジュラ紀後期 - 白亜紀の上部砂岩がシアヌークヴィル地域に広がる主な岩盤であり、海岸線に沿った狭い範囲で若干の珪砂の崖が見られる。

露頭の標高は 19 - 99 m + MSL に位置する。表面から底まで砂岩層の粒度は大半

が細かいものから、中程度にまで変化している。多くの場所での露頭は砂岩、礫質砂岩、シルト岩と頁岩の互層となっており、風化層の色調は白から薄灰色、緑灰色から暗灰色、薄茶から暗茶色である。

基岩の一般的な走向は N50 - 70E であり、NW 方向の緩やかな傾斜 5-10 度を持ち、山脈の NE - SW 方向の方向と一致する。

Table 2.2-7 はコアの記述から作成したものである。被り層は主として砂、シルト砂から成り 4.35 - 25.75 m の厚さを持つ。サイトの南側ではやや厚い (19 - 26 m) の被り層がある。その被り層の厚みは北に行くに従って薄くなる。砂層の崖に作用した波により生成した古い浜の砂が特定された。

砂浜は純粋な珪砂で「非常に細かい」から「中位の細かさ」の粒度から成り、やや角張ったものから丸いもの、「緩く」ないし「やや締って」おり、色は白から薄灰色、薄茶色から暗茶色を呈する。堆積物はほとんどが石英であり、海岸線沿いおよび海底の後期ジュラ紀から白亜紀の砂岩から形成されたと考えられる。

海底では被り層の厚さは 4 m から数 10 m に達する。ボーリング孔は BH-2 ではやや高い標高 3.60 m + MSL で砂岩の基盤に達し、また BH-4 では低い標高 - 21.75 m + MSL で基盤に達している。砂岩のみならず、シルト岩とクレイストーンが現れている。

これらの地下の層位は同様の特徴を持つ隣接する地表に現れた起伏と同じものである。

BH-10 孔は海岸線から約 200 m 沖の海中で掘られた。同孔では約 1 m³/hr の地下水が砂岩層の深さ - 13 ~ - 25 m + MSL から湧き出した。これは海面よりも高いピエゾ水頭を持っている自噴井である。水質は良いが鉄分とマグネシウムがそれぞれ 6.6 ppm と 0.81 ppm とやや高い濃度となっており、やや酸性 (pH = 5.95) , CO₂ 濃度が 111 ppm となっている。これらのデータは発電所の地下水供給の可能性調査に役立つものとなる。

地質断面図 SECTION 1-6 から被り層の厚さはゆるい砂と粘土から成っており、その下層砂岩の基岩が 30 m 以下の深さで帯水層を形成している可能性がある。

(2) ボーリング

沖合ボーリング孔を含めて各ボーリング孔の地質柱状図から地質横断面図を作成した。Fig.2.2-11 にそのおおよその断面の位置を示す。作成した横断面は Figs. 2.2-12 (1) ~ (6)に示す。

陸上ボーリングの結果からいくつかの場所の上部土層は砂質粘土を含むシルト砂となっている。

SPT 値に基づく上部層の堅さは地形上の場所により異なる。砂岩とシルト岩は深さ 4.5 m ~ 25.5 m で見出される。

Fig.2.2-11(2)と(4)に示されるように、特に、サイト内の中央部および南側は基岩の砂岩 / シルト岩は深く BH-3 , BH-4 および BH-5 で約 - 15 m ~ - 22 m + MSL となっている。

サイトの北部および東北部では Figs.2.2-11(3) , (5) , (6)に示されるように基岩は BH-1 , BH-7 , BH-2 および BH-9 で、 + 2.0 m ~ - 2.0 m + MSL となっている。

沖合のボーリング孔 (BH-10 , BH-12 , BH-13)では、上部土層は非常に緩い砂質土が海底に広がっている。BH-11 のボーリング孔では上部層は「緩い」から「中程度の密」な砂から成り、砂岩は砂質堆積物の下層の海底下 4.5 ~ 9.5 m の深さに位置する。

岸から約 200 ~ 250 m の沖合では基岩層は Fig.2.2-11(2) ,(4)に示されるように - 14 m ~ - 11 m + MSL (BH-13 , BH-12 および BH-10)となる。また BH-11 では基岩の標高は約 - 1 m + MSL と浅い。

サイトエリアの中央部と南部は発電所施設の重量構造物が配置される可能性がある。基礎工として杭基礎 / 摩擦杭がこれらの構造物の支持のために必要となる。

詳しい検討はここで得られた土質および岩の物理特性を用いて行うことができる。

取水口 , 放水口のような沖合構造物についても同様の検討を行うことができる。

(3) 土質および岩の試験

これらの試験結果は発電所構造物の設計と施工計画等の作成に用いられる。

(4) 大地比抵抗

これらの結果は発電所の電気設備の設計に用いられる。

2.3. 水文調査

2.3.1. はじめに

水文調査はサイト付近での原水取得の可能性調査のために実施される。調査は Fig.2.3-1 に示される Hun Sen Dam およびサイトの南側の Prey Treng Pond の水位と流量を測定することおよび Fig.2.2-8 に示されるサイト内の地下水位の変化を測定した。

2.3.2. 作業範囲

(1) 河川流量観測

(a) Hun Sen Dam 付近の河川の横断測量図（縮尺 1/500：水平，1/50：鉛直）図面を作成した。

(b) 水位計測

Hun Sen Dam および Prey Treng Pond の水位を毎日 6:00 ~ 18:00 の間 3 時間毎、計 5 回の計測を 2001 年 2 月まで実施した。

(c) 流速測定

Hun Sen Dam と Prey Treng Pond での流速測定を計 5 回行った。

(2) 地下水位測定

サイト内の 7 地点のボーリング孔での地下水位を毎週 1 回，4 ヶ月間実施した。

2.3.3. 方 法

(1) Hun Sen Dam はサイトから約 11 km 離れた地点にあり、その周辺の基準点測量を行った。水平および鉛直の基準点を Hun Sen Dam サイトに GPS の静的モードを用いて、15 秒毎の間隔で 1 時間の観測を行い、2 対（4 地点）の基準点をサイトに設置した。

(2) 水位標の設置

Hun Sen Dam 地点および Prey Treng Pond の出口の 2 個所に水位標を設置した後で、既存の測量基準点から水準測量を行った。水位標の 0 点の標高は平均海水面 (MSL) から決定した。

(3) Hun Sen Dam での日水位観測

日水位の観測は毎日の定時である 6:00, 9:00, 12:00, 15:00 および 18:00 に行った。観測期間は 2000 年 9 月から 2001 年 2 月の 5 ヶ月である。

(4) Hun Sen Dam (河川幅が約 75 m) 周辺の河川横断測量を 4 断面について行った。横断面は水平縮尺 1/500, 鉛直縮尺 1/50 で作成した。

(5) 流速測定は流速計 (Model OSS B1)を用いて実施した。河川流速は 1 ヶ月に 1 回で 4 ヶ月間測定した。

(6) 地下水位計測

地下水位は ST-01 水位ゲージにより計測した。この計測器は、電線でできた測定テープと針から成る。針が水面に接触した時に音を発する構造になっている。ボーリング孔の天端標高と場所はサイト内の基準点と関連付られている。サイト内の 7 地点のボーリング孔で 1 週間に 1 回、2001 年 2 月まで計測した。

2.3.4. 結 果

(1) 河川横断測量

6 断面の河川横断を測量した。各断面の位置を Drawing CB-30 に示す。各測線の横断面を Drawing CB-31 に示す。

流量係数は Prey Treng Pond の出口の形状の測定結果から推定した。

(2) Hun Sen Dam と Prey Treng Pond の水位計測

両地点の水位は水位標の設置後 2000 年 9 月 16 日から計測された。Hun Sen Dam と Prey Treng Pond の水位標の 0 点は平均海水面から換算され、各々 +1.009 m および -0.294 m となった。

それぞれの地点での水位計測結果を Tables 2.3-1(1) ~ (6)および 2.3-2(1)~(6)に示す。

また、両地点の水位の変化の様子を Fig.2.3-2 および 2.3-3 に示す。

(3) 流速計測

Hun Sen Dam と Prey Treng Pond の流速測定はいずれも堰地点で、それぞれ 10 回 および 13 回実施した。Table 2.3-3 (1) および Table 2.3-3 (2) にこれらの結果をまとめて示す。

(4) 地下水位計測

ボーリング孔 BH-1, BH-2, BH-3, BH-4, BH-5, BH-7 および BH-9 での地下水位の計測を行った結果を Table 2.3-4(1) および Table 2.3-4(2) に示す。

2.3.5. 技術的評価および考察

(1) 河川横断面

Hun Sen Dam のダムクレストはダム軸に沿って同一の標高となっているため、詳細なダムクレスト標高の測量を再度実施した。その結果は Table 2.3-5 に示す通りである。

これらの結果は流量係数の推定に用いられた。

(2) 水位計測

Hun Sen Dam と Prey Treng Pond 出口での水位計測は順調に行われた。いずれの地点の水位も 10 月に増大し、翌年 2 月にかけて徐々に減少している。

(3) 流速計測

(a) クレストの形状

Hun Sen Dam と Prey Treng Pond の堰は水路の流れをコントロールする構造物であり、それぞれ矩形広頂堰と V 形（三角）広頂堰に分類される。

矩形広頂堰は単純な構造物であり、平坦で水平なクレストを持つ。堰上流面は垂直で滑らかな面を持つ。堰は流れに直角の方向に配置される。

V形広頂堰は、2点の有利な点を持つ。1つめは流量が多い時に水面幅が広くなり、背水の影響が大きくなる。2つめは、低流量の時に水面幅が減少し、堰の流量調整の機能を維持できる。

(b) Hun Sen Dam の広頂堰の特性

基本的な越流量を推定するための水位 - 流量式は次のようになる。

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2g}{3} \right)^{0.5} \cdot bh^{1.5}$$

ここに、 Q : 堰の越流量 (m^3/s) , Cd : 流量係数 , g : 重力加速度 ($9.8 m^2/s$) ,
 b : 堰幅 (= 75.32 m) , h : 堰クレスト上の越流水深 (m)

実験結果から、通常、流量係数の Cd は比 $h / (h+w)$ (ここに w は水路床からの堰の高さ) の関数となる。

一方、下記流量算出式についても比較した。

$$Q = Cdbh^{1.5}$$

ここで、 $Cd = (1.24 + 1.64 h/w)$, W : 堰高 (= 0.655 m)

この場合 Cd 値は実験から求められている。

(c) Prey Treng Pond の V形広頂堰の特性

V形堰の越流量推定のための基本的な水位 - 流量式は以下のようである。

$$Q = Cd \cdot \frac{16}{25} \cdot \left(\frac{2g}{5} \right)^{0.5} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{2.5}$$

ここで、 θ : 堰のノッチの角度 , その他は(b)の変数と同じ

V形堰の Cd 値は 1 近くとなる。

(d) Hun Sen Dam の矩形広頂堰の Cd 値の検証

2000年9月30日から10月18日の間に10回の水位 - 流量の観測結果が Table 2.3-3 (1) に示すように得られており、これらを検証に用いた。Hun Sen Dam のクレスト天端は水平ではないため、Table 2.3-3(1)に示すように8つの区間

に分割した。この時、水位 - 流量関係式は次のように表わされる。

$$Q = Cd \cdot 2/3 \cdot \left(\frac{2g}{3} \right)^{0.5} \text{SUMBH}$$

ここで、 $\text{SUMBH} = (b_1 h_1^{1.5} + b_2 h_2^{1.5} + \dots + b_8 h_8^{1.5})$, b_1 : 区間 1 の堰幅 (m) ,
 h_1 : 区間 1 の越流水深 (m) , b_8 : 区間 8 の堰幅 (m) , h_8 : 区間 8 の
越流水深 (m)

これらの式は次のように表すことができる。

$$Q = Cd \cdot X$$

ここに、 $X = \text{constant SUMBH}$

$$\text{constant} = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{2g}{3} \right)^{0.5} = 1.705$$

$$\text{SUMBH} = (b_1 \cdot h_1^{1.5} + b_2 \cdot h_2^{1.5} + \dots + b_8 \cdot h_8^{1.5})$$

堰上の越流水深は水位から各区間の堰天端標高を差引くことにより得られる。

Q と X の値を計算した後、最小自乗法により Cd 値を推定した。但し、回帰式は 0 点を通るものとした。この結果 Cd 値として 0.99668 が得られ、その時の相関係数は $R^2 = 0.9914$ となった。この Cd 値を用いた時、計算値の誤差は Table 2.3-3 (1) に示されるように 0.471 ~ 8.932% となり平均 4.5% となった。Fig.2.3-4 には回帰式と $X (\text{const} \cdot \text{SUMBH})$ と算出した Q 値との関係をプロットしてある。同図より両者は良好に一致している。

一方、後者の式により同様にして Table 2.3-3 (1) のデータを用いて流量を算出した結果を Table 2.3-6 に示す。

この結果、計算流量誤差は 0.629 ~ 17.42% , 平均 8.4% となり、Table 2.3-3 (1) の値より若干大きくなった。Fig.2.3-5 は観測流量と計算流量との比較をしているが両者はよく一致する。

この結果から Hun Sen Dam の越流量算出式として前者の式を用いることとし、以下の水位観測値は同式により流量に変換した。

(e) Prey Treng Pond の V 形広頂堰の流量係数の検証

Table 2.3-3 (2)に示されるように、2000年9月30日～10月18日の間に得られた13個の水位、流量を用いて検証を行った。

越流水深はMSL上で計測された他の水位からクレスト標高+1.025 m MSLを差引くことにより得られる。

堰のノッチ角は測量結果から172.3°となる。水位 - 流量式は次式で表される。

$$Q = C_d \cdot X$$

ここに、 $X = \text{constant} \cdot h^{2.5}$

$$\text{constant} = 16/25 \cdot \left(\frac{2g}{5}\right)^{0.5} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = 18.8779$$

QとXの値を用いて最小自乗法によりC_d値を推定すると0.9987の値が得られた。但し回帰式は0点を通るものとした。この時の相関係数はR² = 0.9917となる。このC_d値を用いて算出した流量値の誤差はTable 2.3-3 (2)に示されるように0.18から18.01%となり平均誤差は5.955%の誤差となった。

従ってPrey Treng Pondからの越流量は観測された水位から上式を用いて算出することができる。

Fig.2.3-6に示す流量観測値と計算値の比較から、両者は良く一致している。

すべての既知量を水位 - 流量式に代入することにより、次式の流量推定式がえられる。

$$Q = 18.853 h^{2.5}$$

この式によりPrey Treng Pondの流出量を以後に観測された水位から算出した。

(f) 観測水位からの流量計算

Hun Sen Damでの各月の流量をTable 2.3-7 (1)～(6)にまとめて示す。またこれらの流量の変化の様子をFig.2.3-7に示す。9月と10月の雨期の洪水期はすぐに終了して減衰が続く。この減衰時の流量は翌年の雨期の開始まで減少が続く。

Prey Treng Pond の各月の流量を Table 2.3-8 (1) ~ (6)に示す。また、流量の変化の様子を Fig.2.3-8 に示す。

同図より Hun Sen Dam の流量と同じ傾向が現れている。

(4) 地下水位

Fig.2.2-8 に示されるボーリング孔 BH-1 , BH-2 , BH-3 , BH-4 , BH-5 , BH-7 および BH-9 の計 7 地点のボーリング孔での観測井の地下水位が 2000 年 10 月から 2001 年 2 月まで観測された。地下水位の変化の様子を Fig.2.3-9 に示す。同図より地下水位の標高の違いは各観測井の設定標高に影響を受けていることがわかる。

BH-2 , BH-7 と BH-9 はそれぞれ設定標高が + 9.707 , + 11.007 および + 8.123 m + MSL となっている。これらの 3 ヲ所の地下水位の差は雨期と乾期に大きく出ている。

BH-4 と BH-5 はそれぞれ地般標高が + 3.975 m と + 3.013 m + MSL に設置されている。これらの雨期 , 乾期の地下水位の変化は大きくない。これらは、いずれも平坦な場所であり、Prey Treng Pond からの函養および海水面の影響を受けていると考えられる。さらに 2001 年 1 月半ば以来、各ホールの地下水位の変化は殆どなく、BH-4 と BH-5 ではほぼ一定となっている。

(5) 原水供給源

乾期の Prey Treng Pond での流出量は 2 月末で約 17 lit/sec であり、同時期の Hun Sen Dam の越流量 10 lit/sec よりやや多い。結論として Prey Treng Pond を発電所の主な原水補給源として考えることができるが、更に流出量の観測を継続して長期に亘る安定供給の確認が必要である。

2.4. 深浅測量

2.4.1. はじめに

サイト前面海域の深浅測量を実施し発電所の取・放水口設備設計のための海底地形の形状を得た。

2.4.2. 作業範囲

深浅測量を実施し、縮尺 1/1,000 , 0.5 m ピッチの等深線の海底地形図を作成した。標高は MSL を基準とした。

測量範囲は Fig.2.4-1 に示される約 2.3 km² である。

2.4.3. 方 法

(1) 深浅測量

(a) 海底の測深

音響測深器 Raytheon 179 Cm を用い、単一周波数 208 kHz で運用する。変換器は測量船に設置した。標準的なバーチェックを測量作業の前後で実施し、器材のキャリブレーションを行った。

(b) 位置決め

音響測深器の操作員が、記録チャートにマークをするボタンを押すと同時に測量船の位置計測が行われる。2 台の GPS 受信部 “Leica System 300” がこの作業に用いられた。1 台の GPS は陸上の測量基準点で静止モードで運用され、他の 1 台の GPS は測量船上で “Rover” として動的モードで運用された。観測間隔は自動的に 1 秒に設定した。

(c) 潮位計測

深浅測量の作業期間中 15 分毎に水位標による潮位観測を行った。

(d) 浜の形状

浜の形状測量は、測量船が近づけない浅い所で行った。海岸線の詳細な形状は人が入って行ける所はトータルステーションにより測量を行った。その測量範囲は深浅測量の範囲と重なるように設定した。

(e) データ解析

現地データは、マイクロコンピュータに転送され、アスキー様式で地点ファイルに変換される。

(f) 海底地形図

地形ファイルを測量ソフトウェア“Sofedesk Ver.8”に送り、Digital Terrain Model (DTM) により自動的に等深線の補間が行われる。

最終の図面ファイルは AutoCAD Ver.R14 のソフトウェア 3D 様式で描かれインクジェットプロッター (HP750C) により描画された。図面は縮尺 1:10,000 で等深線間画は 0.5 m , 標高の基準は MSL により作成された。

2.4.4. 測量結果

深浅測量の結果から得られた海底地形図を Drawing CB-28-1 ~ CB-28-9 に示す。各図面の配置は Fig.2.4-1 に示される通りである。測量船の航跡図 Drawing CB-27 に示す。沖合から陸上に至る 3 本の横断図は Drawing CB-29 に示される。

2.4.5. 技術的評価および考察

サイト前面は南北方向に約 1 km の砂浜が広がる。浜の勾配は約 1/50 で、沖合方向に徐々に緩やかになり岸から約 1 km の沖で海底勾配は約 1/500 となる。海底地形は比較的単調で特に目立った起伏は見られなかった。

2.5. 海底地質調査

2.5.1. はじめに

海底地質調査はシアヌークヴィルコンバインドサイクル発電開発計画フィージビリティ調査の一環として行った。調査位置はカンボディアのシアヌークヴィル, Stung Hav 地方のプロジェクトサイトに位置する。サイトエリアを Fig.2.5-1 に示す。海上ボーリングによりサイトにおける発電所の取・放水施設構造物の設計に必要な地質情報を得た。

2.5.2. 作業範囲

海上ボーリングで実施した作業は以下の通りである。

- (1) **ボーリング** : 4カ所, 全延長約 80 m (土: 29.7 m, 岩: 50.35 m)
- (2) **試料採取** : 連続コア採取 (土, 岩)
不攪乱土採取 4 試料
- (3) **標準貫入試験** : 61 個
- (4) **土質および岩の試験**
 - (a) 物理試験 : 13 試料 (岩 4 試料, 土 9 試料)
 - (b) 強度試験 : 16 試料 (岩 4 試料, 土 $4 \times 3 = 12$ 試料, 三軸圧縮試験用)
 - (c) 圧密試験 : 4 試料 (土試料のみ)

2.5.3. 方 法

(1) 沖合ボーリング

沖合ボーリングは全 4 孔を 2000 年 11 月 5 日～11 月 17 日の間に実施した。またボーリング作業中に必要な試料採取と試験を実施した。

沖合ボーリング作業は Fig.2.5-2 に示されるフロー図のように進められた。

(a) 削 孔

作業船台を設置した後、海底の標高および潮位を計測テープにより計測し、ボーリング作業を開始した。計測テープの先端には重錘型の重りを取付けて

あり、重りが海底に達した後、重りが海底面の泥に埋るため、作業船台の海底面からの高さは全長から泥の厚さを差引いて算出した。削孔作業は 2.2.3 項の陸上ボーリングの項で記述した方法と同様の方法で実施した。

(b) 不攪乱試料採取

不攪乱試料採取は 2.2.3 項で記述した方法と同様の方法で実施した。
但し、海上でのシンウォールチューブサンプラーとピストンサンプラーの機器の配置をそれぞれ Fig.2.5-3(1)および(2)に示す。

(c) 標準貫入試験

2.2.3 項で記述した方法と同様の方法で実施した。
但し、海上での機器の配置を Fig.2.5-4 に示す。

(d) 岩削孔

岩削孔は 2.2.3 項で記述した方法と同様の方法で実施した。

(2) 試験室での試験

試験室での試験は採取した土の試料と岩の試料の物理的な特性を明らかにするために実施した。試験は以下の項目について行った。

(a) 土の物理的特性試験

- 含水比
- 単位体積重量
- 比重
- 粒度分布

(b) 土の強度試験

- 圧密排水三軸圧縮試験 (CID)

(c) 土の圧密試験

(d) 岩の物理特性試験

- 含水比
- 単位体積重量

- (e) 岩の強度試験
 - 一軸圧縮試験

試験室での試験は ASTM で推奨されている標準に従い、また土の分類は統一土質分類 (USCS) に従って実施した。

2.5.4. 結 果

ボーリング作業の統括を Table 2.5-1 に示す。

各孔での地質柱状図は Fig.2.5-5 ~ Fig.2.5-8 に示される。物理試験の結果を Table 2.5-2 (1) ~ (4)にまとめてある。

2.5.5. 技術的評価および考察

沖合ボーリング孔の各孔の相関は地質断面図として Fig.2.5-9 (1) ~ (4)のように整理できる。沖合ボーリング孔の 4 ヲ所のうち 3 ヲ所 (BH-10, BH-12 および BH-13) については、上部の土層は非常に緩い砂質土から成る。BH-11 孔では上層は「緩い」から「中程度に密な」砂から成る。砂岩は砂質堆積物の下の海底下 4.5 ~ 9.5 m の深さに現れる。

沖合構造物の基礎として、上部の砂層は抵抗力が殆ど期待できないため、下部の砂岩に到達する先端支持杭を打つ必要があると考えられる。

2.6. 海象調査

2.6.1. はじめに

シアヌークヴィルコンバインドサイクル発電所の設計のための調査の一環としてサイトエリア前面の潮位変動を計測した。

この結果とシアヌークヴィル港での潮位データを比較した。

2.6.2. 作業範囲

シアヌークヴィルコンバインドサイクル電源開発プロジェクトのサイト前面において潮位を計測し、海の潮位特性を知るための基礎データを得た。さらに近くのシアヌークヴィル港およびタイの Trat 州の Klong Yai 地点でのデータから長期特性を検討した。

2.6.3. 方 法

(1) 計測機器の設置

潮位計測に先立ち、鋼製のフレームをサイトへ輸送した。フレームの中央に 6 インチ径の鋼製パイプを設置した。2000 年 11 月 19 日に水位計をそのパイプ内に設置し、パイプの外側に目視観測用水位標を設置した。水位計の位置は Fig2.5-1 に示すボーリング孔 BH-10 と同じ場所である。

目視観測用の水位標は、プラスチック製の 1 m のものを 3 個接続してある。表面には 1 cm きざみで 5 cm 毎に両側に振分けた表示が残されている。水位標は通常天文潮の条件下であらゆる潮位変動に対応できるように設置した。また、パイプ内の水位計とデータ収録装置のケーブルは水位計が水位標と同じ読み値を示すように設置した。

(2) 観 測

水位計により 2000 年 11 月 19 日から同年 12 月 25 日の間に 10 分毎に潮位を記録した。この期間中、目視観測が行われ、その読み値と水位計記録器のデータとの比較を行った。計測期間の後で、水位計を回収し、記録されたデータをノート型

コンピュータに転送した。

(3) 潮位の MSL 表示

サイトエリア前面潮位とヴェトナムの Hatien での MSL とを関連付けるための陸上測量を行った。GPS 測量により設置した 6 インチ径のパイプ天端の標高が 3.912 m + MSL、また目視観測用水位標天端の標高が + 1.437 m + MSL となった。このことから、目視観測用水位標の 0 点標高は - 1.563 m + MSL となる。

(4) データ解析

3 種類の潮位データを整理した。

(a) サイト前面での 35 日間の潮位データ(2000 年 11 月 19 日 ~ 12 月 25 日)

(b) シアヌークヴィル港での 3 年間の潮位データ

潮位の観測点の位置は次の通り

UTM 座標 : 1176569.130N , 336434.354E

緯度・経度 : Lat 10°38'27.0373"N,

Long 103°30'16.3441"E

(c) タイ国 Trat 州 Klong Yai 地点の 1993 年から現在までの潮位データ

潮位観測地点の座標は次の通りであり位置を Fig.2.6-1 に示す。

Lat. 11°46'58"N

Long 102°52'03"E

同観測所は、タイ国の港湾局により維持されている。

本プロジェクトのサイトでのデータおよびシアヌークヴィル港でのデータはいずれもヴェトナムの Hatien の MSL を基準に計測が行われた。また、Klong Yai 地点のデータはユラック地点の MSL により表示されている。

(5) データ解析

3 セットの生データから、まず、それらのデータのチェック、編集を行い、以下のパラメータを算出した。

(a) 調和解析

サイト前面での潮位観測データが 35 日間であることから、29 日間の潮位観測に対する調和定数を求めた。他の 2 地点の潮位データは年間データが入手されているため、さらに多い調和定数が算出できる。

(b) 調和解析の結果から、潮位変動の型を次式で定義される下記により分類することができる。

$$F = (K_1 + O_1) / (M_2 + S_2)$$

半日潮	:	$0 \leq F \leq 0.25$
混合期, 主に半日潮	:	$0.25 < F \leq 1.50$
混合期, 主に 1 日潮	:	$1.50 < F \leq 3.00$
1 日潮	:	$3.00 < F$

(c) 調和解析の結果から潮差は経験的に次式から算出できる。

平均潮差	:	$2.2 M_2$
大潮差	:	$2.0 (M_2 + S_2)$
小潮差	:	$2.0 (M_2 - S_2)$
熱帯潮差	:	$2.0 (K_1 + O_1)$
赤道潮差	:	$2.0 (K_1 - O_1)$
平均日潮差	:	$1.5 (K_1 + O_1)$

また $(M_2 \pm S_2)$ は日潮不等のパラメータとなる。

(d) 非調和解析

- 平均海面 (MSL) (= Σ 全データ / n)
ここに、n : データ数
- 基準水面 (CDL) (= $MSL - M_2 - S_2 - K_1 - O_1$)
- 平均朔望平均満潮位 (MHWL) = $(MHHW + MLHW) / 2$
- 平均朔望平均干潮位 (MLWL)
- 平均潮位 (MTL)
- 平均潮位 (Mn) = $MHWL = MLWL$

(e) 基準面

シアヌークヴィル港での基準面は $-1.07 \text{ m} + \text{MSL}$ である。

2.6.4. 結 果

(1) 潮位計測値の補正

水位標による目視データと水位計の記録データをいずれもMSL表示で比較した。個々の読み値の両者の差は - 0.82 m ~ + 0.39 m となっている。これらの差はあまりに大きすぎ、目視観測値のデータの信頼性は低い。

一方、2000年12月11日にJICA調査団およびSIAM TONEの技術者が現地潮位計の視察時の目視水位標の読み値は13:56時点で1.78 mであり、この値は + 0.217 m + MSL に相当する。

水位記録計の同日14:00のデータでは + 0.117 m + MSL となっていたため、水位計の記録値は実際の潮位より0.1 m小さく記録されている事が判明した。従って潮位記録データを全て0.1 m加える補正を行うこととした。

(2) データ解析

2000年11月19日～同年12月25日の35日間の潮位データ（補正済み）の変化の様子を Fig.2.6-2 に示す。

このデータの中から2000年11月20日～同年12月17日の29日間のデータを用いて調和解析を行った。

サイト地点での調和定数は Table 2.6-1 のようになる。3地点の潮位データに基づく主要調和定数は Table 2.6-2 のようになる。サイトでの非調和解析の結果についても Table 2.6-2 に示される。

また、サイト前面での潮位変化と同時期のシアヌークヴィル港での潮位変化の比較を Fig.2.6-3 に示す。

2.6.5. 技術的評価および考察

サイト前面およびシアヌークヴィル港で得られた潮位データを基にして行った。調和解析の結果から、潮汐の型を判定するパラメータF値が計算される。この結果、シアヌークヴィル港でのF値は2.77となり、日周潮が卓越する混合潮となり、サイト前面

での F 値は 2.54 で同じく日周潮が卓越する混合潮となる。

主要分潮は、全日周潮の K_1 および O_1 であり、半日周潮の M_2 および S_2 の影響は小さい。

シアヌークヴィル港の潮位観測所の基準面は MSL - 1.07 m に設定されている。本プロジェクトのサイト前面の 2000 年 11 月～12 月の潮位データは同期間のシアヌークヴィル港での潮位データと比較して、その振幅、位相がほぼ一致し、平均水面の差は 0.02 m であり、GPS 測定の誤差レベル以下となっている。このことから本プロジェクトサイトでの基準面としてシアヌークヴィル港と同じ値を用いて良いと考えられる。

朔望平均満潮位と朔望平均干潮位との差は非常に小さい。11 月～12 月のサイトでの朔望平均満潮はシアヌークヴィル港での平均より高く、一方、朔望平均干潮位は両者でほぼ同一となる。シアヌークヴィル港での 11 月～12 月の平均水位は年平均水位より約 0.2 m 高い。これはモンスーンに基づく年間の海面変動と考えられる。

3. 環境ベースライン調査結果

3. 環境ベースライン調査結果

本章に 1 年間に亘り実施された環境ベースライン調査結果のまとめを記述する。調査作業は四半期毎の現地調査およびファックスや E-mail による月例進捗レビューを含む JICA 調査団の監督のもと、タイの TEAM Consulting Engineering and Management Co. が実施した。その結果は、TEAM 社により「シアヌークヴィルコンバインドサイクル発電計画環境ベースライン調査最終報告書」として纏められており、以降 TEAM 報告書と呼ぶものとする。

全体の調査作業は 2000 年 9 月に開始し、2001 年 2 月まで継続され、2001 年 6 月に再開された後、2001 年 8 月に終了した。得られたデータは JICA 調査団により別途作成されるシアヌークヴィルコンバインドサイクル発電計画 EIA レポートの基礎情報となる。また調査の内容は 10 のカテゴリーに分かれている。

- a. 30 km 半径内および全てのプロジェクト関連地域の土地利用調査と利用地図の作成。
- b. 30 km 半径内および全てのプロジェクト関連地域の人口調査。
- c. 30 km 半径内および全てのプロジェクト関連地域の社会経済調査。プラント進入道路沿いの建造物や雨季 / 乾季における 3 地点での交通状況調査を含む。
- d. 全てのプロジェクト関連地域の考古学的調査。
- e. 全てのプロジェクト関連地域の雨季 / 乾季における陸上生物生態調査。樹木の目録作成およびプロジェクト関連地域に生息する保護種に注意を払った調査。
- f. Hun Sen Dam およびその流域、並びに Prey Treng Pond の雨季 / 乾季における水質および水生生物調査。プランクトン（植物・動物性微生物）、ベントス（池、川、海等の底に生息している生物）、魚類、植物および鳥類の調査を含む。Prey Treng Pond においては、湖底の微生物測定。
- g. 周辺水域の保護種を含む海洋生物生態系および漁業調査。雨季 / 乾季における水質、プランクトンおよびベントス調査。魚類、漁獲活動および魚類プランクトン（魚卵および幼生）の採取活動（8 回）。取水 / 排水口設備予定地におけるベントスの観察調査の為に潜水および海底微生物測定。
- h. サイトおよび影響地域に対する、雨季 / 乾季の大気性状、騒音の測定。および 30 km 半径内の固定大気汚染源の目録作成。
- i. 海象調査と温水拡散計算モデルによる冷却水の拡散シミュレーション計算。

j. 排ガスの地上濃度計算。

調査作業の場所，方法，スケジュール等は、状況の変化に合わせ、事前の調査団の承認のもと、当初計画されていたものから次に示す若干の変更が為されている。

a. 残土処理地の場所・大きさにつき下記変更がなされている。

調査の始まる時点では残土処理地はまだ特定されておらず、余裕を見て、サイト外の 50 ha の何処かの土地を想定していた。しかし、2000 年 9 月にサイトの地形調査が終了した結果、広い残土処理地が不要である事が判明した。そこで、サイトの境界を若干変更し 0.573 km² の土地とすることにより、残土処理も含めた Stage 3 (270 MW) までの建設用スペースを全てこの範囲で賄う事とした。

b. 土地利用調査・地図作成が 2001 年 6 月完成の予定が早まり、2001 年 12 月に終了した。

c. サイトエリアへの夜間立入許可取得の遅れにより、2000 年 9 月に予定していた雨季における交通量調査のタイミングがずれ、雨季終了までに実施出来なかったため、2001 年 6 月までずれ込んだ。

調査場所の定義：

- “ Site ” または “ Project Site ” はプラントサイト + 残土処理地を示している。この場所は、本報告書、TEAM 報告書および EIA レポートにおいては Area A として参照されている。しかし、前記したように、調査開始時にサイト外の別の場所としていた残土処理は無くなり、Area A と併合されたので、今後の説明では併合した場所を Site A と称する。
- “ Pipeline Corridor ” はプラントサイトから Sokimex 石油ターミナルへと伸びる油パイプラインルート of 100 m 幅の調査地帯を指す。
この地帯は、上述の報告書において Area B と称している。油パイプラインはこの地域内に設置されるが、実際は 100 m 幅のほんの一部のみが使われる。
- “ 30-km radius ” はプラントサイトから 30 km の範囲内の地域を指す。この地域は上述の報告書においては Area C と称されている。
- “ Laydown area of Unit 3 construction ” は Stage 1 および Stage 2 運転中に平行して Stage 3 建設を行う際の用地として使用される Prey Treng Pond の南に位置する約 11 ha のことを指す。この地域は、上述の報告書では Area D と参照されている。

種々の環境調査・サンプリング地点を含めた上記 4 地域の境界を Fig.3-1 から Fig.3-5 に示す。種々のサンプリング点はこれらの図の中に符号にて示している。

3.1. 土地利用調査と利用地図の作成

3.1.1. 30 km 半径内

30 km 半径でカバーされる面積は 2,827 km² であり、その約 3 分の 2 (1,872 km²) は開放された海域で、残りの約 3 分の 1 (956 km²) は陸上である。30 km 半径内にある土地の利用調査結果は TEAM 報告書に纏められている (Table 2.2-1 および 2.2-1, Fig.2.1-3 および 2.1-4)。要約すると次に示す 4 種の目的に利用されている土地の面積が全 956 km² の土地の約 97 % を占めている。

- 森林 (556 km² あるいは 58%)
- 農地 (135 km² あるいは 14%)
- 草地 (128 km² あるいは 13%)
- 低灌木に覆われた土地 (115 km² あるいは 12%)

居住地は僅か 3 km² に過ぎない。清水域は植林地も 0.1 km² 以下である。

3.1.2. プラントサイト(含む残土処理地)

前述したように、プラントサイトと残土処理地は一つの区画内に組込まれている。この土地の利用状況は、TEAM 報告書に Table 2.1-1 および Fig.2.1-1 として示されている。この土地は、主として草地と雑木林で、それぞれ 0.383 km² あるいは 67% , 0.110 km² あるいは 19% と合わせて全体の約 86 % を占めている。道路と鉄道の西側にある “Sand Bank” と称しているところは、狭隘な白砂のビーチで、週末や休日には小人数ではあるが地元住民のリクレーションに使われている。サイトの北西角は旧ヴィエトナム軍の駐屯地で、この調査中に CMAC (Cambodian Mine Action Center) による地雷・不発弾調査処理が行われた。調査は、万一の事故を心配しこの地域には立入らずに行った。

サイト近傍の土地利用状況は、サイト内と略同じ状況である。

3.1.3. 油パイプラインルート

油パイプラインルート (Pipeline Corridor) の土地利用調査結果を Table 3.1-1 および Fig.3.1-2 に示す。雑草地 (0.174 km²あるいは60%)および工業用地 (0.088 km²あるいは30%) 利用が全体の約90%を占めている。

3.1.4. Stage 3 建設用用地

Stage 3 建設用用地は、1家族の住民の居住が確認されており、雑草地 (75%)および森林 (25%)である (Table 3.1-1 および Fig.3.1-3)。

3.2. 人口調査

3.2.1. 30 km 半径内

30 km 半径内の土地の約84%が、プラントが設置される予定の Krong Preah Sihanouk Province の3つの District 内に含まれている。残りの約16%の土地は、Koh Kong Province の2つの District の一部を構成する端地である (TEAM 報告書 Fig.2.1-4 参照)。一番大きな端地は Sre Ambel District に属し、この地は Stung Hav District の北西側の区境界から北西方向に30 km 半径の端にまで広がっている。シアヌークヴィルの西側、Stung Hav Village の北西側の海を越えた30 km 半径地点に Botom Sakor District に属する4つの端地がある。次に示すようないくつかの理由から、30 km 半径内の社会経済的データは Krong Preah Sihanouk 内の3つの District のデータで代表されると考えられる。

- (i) これらの端地の多くの地域はプランとサイトから遠く離れており、集落は存在しない。
- (ii) これらの端地だけに関する統計的情報は存在しない。
- (iii) Sre Ambel および Botom Sakor District の殆どの住民は30 km 半径外に居住している。

Krong Preah Sihanouk Province の3つの District のデータを下記に示す。

1998 年時点の Krong Preah Sihanouk の全人口は約 156,000 人である。その内女性は 50.6 %とやや多い。3 年代層 (20 - 24 , 15 - 19 および 0 - 4) でやや小さ目の人口構成を示しているが、15 才未満の人口の多さが目立つ (TEAM 報告書 Attachment 1 参照)。これが、約 83 %という高い被扶養率 (被扶養者数/就労年齢人口) となっている。

人口は、Prey Nob および Mittapheap (それぞれ、約 75,000 および 67,000) の 2 つの District に集中している。Stung Hav の人口は少なく約 13,000 である。人口密度は、Mittapheap が一番高く (350/m² 以上) Prey Nob が最も低い (100/m² 以下)。Krong Preah Sihanouk の人口の約 52% は他の州からの移住者である。他国からの移住者は約 4% である。移住の理由の 3 分の 2 は仕事を見つけるためと家族の移動によるものである。世帯主の多くは男性でその率は 77.5 % となっている。

経済活動を行っている人間の数は約 61,000 人で、男性が 57.5 % 女性が 42.5 % である。男女別の不就労者率は、各々約 6.5% および 10.8% である。その活動の約半数は第 1 次産業 (農業, 狩猟, 林業および漁業) で、第 2 次産業 (鉱業, 採石業, 製造業, 電気, ガス, 水の供給および建設) は約 11 %, 第 3 次産業 (卸・小売業, サービス業) は約 38 % となっている。失業率は、男性が約 6.5 %, 女性が 10.8 % である。

7 才以上の識字率は、男性が約 73 %, 女性が約 56 % である。識字者の教育レベルは下記となっている。

就学経験無し	1.0 %
小学校中退	56.0 %
小学校終了	27.0 %
中学校中退	11.9 %
中学校終了	3.6 %
中学校より上の学歴	0.5 %

15 才以上の人間の約 62 % は結婚しており、残りの 30 % は結婚経験無し、その他は死別、離婚および離別である。

住環境は下記となっている。

飲料水源 :	掘り井戸	66 %
	水売りからの購入	16 %
	水道水 (piped water)	8 %

	溜め池	5 %
照明手段：	灯油ランプ	57 %
	公共電源	37 %
	自前電源	2.4 %
炊事用燃料：	薪	69 %
	木炭	27 %
	L P G	2 %
	灯油	2 %

3.2.2. プラントサイト(含む残土処理地)および油パイプラインルート

この地域および油パイプラインルートの人口調査結果によると両地域の人口はほんの僅かである。プラントサイト内および残土処理地には、たった6世帯が居住しているだけであり、道路あるいはサイトの近接地域には9世帯、100 m幅の油パイプラインルート地域には23世帯が居住している。Fig.3.2-1 にこれらの住居の位置を示す。これらの住民の生活は薪拾いおよびパートの仕事に依存している。油パイプラインルートに居住している家族の多くは Sokimex , Shell あるいは Tela のオイル会社で働いている。

3.2.3. Stage 3 建設用用地

この地域には4世帯が居住しており、農業を営んでいる (Fig.3.2-1)。

3.3. 社会経済調査

3.3.1. 交通状況調査

シアヌークヴィル港と Sokimex 石油ターミナル間の雨季 / 乾季における交通状況調査を実施した。調査は、週日および週末の24時間、シアヌークヴィル港と Sokimex 石油ターミナルの間の3地点 (TC1 , TC2 および TC3) で行った。

TC1 は、シアヌークヴィル港とサイト間の港に近い側の歩行者の多い Tamnop Rook

Village に位置している。TC2 はシアヌークヴィルと Stung Hav の境界のサイトに近い住民の少ない地域に位置している。TC3 はサイトと Sokimex 石油ターミナル間でターミナルに近い位置である。

歩行者数は、時間と方向毎に調査され、車輛の通行量は車の種類、時間、方向別に調査された。

詳細調査結果は、TEAM 報告書の Attachments 2-1 ~ 2-20 に示されており、結果を纏めると下記の通りとなる。

TC1 では、歩行者と車両の交通量は、合計で乾季の週末および週日の 24 時間で 12,000、週日の 24 時間で 10,000 度数を数え、雨季では各々 8,000 および 7,000 を数えた。この内多くは歩行者とモーターバイクであり、モーターバイクの方が多く、その比率は略 3 : 1 であった。

TC 1 での調査結果は、TC2 あるいは TC3 での調査結果の 6 ~ 8 倍の交通量を記録した。

3.3.2. サイト近くの道に沿った建造物

シアヌークヴィル港と Sokimex 石油ターミナル間の道に沿った 20 m 範囲内にある建造物の確認を行った。位置は GPS で特定し、建造物の数は港から 500 m きざみに統計を取った。注目すべき建造物は写真に取った。

撮影した写真を含む詳細な調査結果は、Fig.3.3-1 および TEAM 報告書 (Table 2.3-1 および Attachment 2-21) に示されており、次の通り要約される。

- (i) 港とターミナル間の道路沿い 20 m には 691 の構造物が存在する。
- (ii) この内、406 (58.7%) は住居、262 (37.9%) は商店、16 が工場で、7 つの政府機関のオフィスが存在している。

3.3.3. 30-km 半径内の状況

関係機関よりの聴取および入手可能記録により 30-km 半径内の社会経済状況概要を作成した (TEAM 報告書 Attachments 2-23 および 2-24 参照)。公立学校、病院、産業活動 (製造および電気) および他のセクターの活動に関する情報が入手出来た。下記に注目すべき所見を述べる。

- 学校の生徒数が多い (特に小学校で)。

- 多くの世帯が漁業を行っている（Stung Hav District の多くの世帯が、また Mittakpheap District の 1/3 の世帯）。
- 製造業は数も少なく、規模も小さい。
- 病院は、人口の割りには患者数，専門スタッフも少ない（州全体で医師はわずか 13 人）。

Sokimex やシアヌークヴィル港を含むいくつかの大規模な産業体からは、国家機密を理由にその操業についての情報は取れなかった。3 つの District 内にある工場の位置情報については 3.8.項に示す。

3.3.4. プラントサイト(含む残土処理地), 油パイプラインルートおよび Stage 3 建設用用地の状況

プラントサイト，油パイプラインルートおよび Stage 3 建設用用地に居住者の社会経済状況について、39 の世帯主にインタビューした。下記に注目すべき所見を示す。

- 平均世帯人数 : 5 人
- 性別 : ほぼ半々
- 平均年齢 : 23 才
- 人種 : 30 人がクメール人，1 人がヴィエトナム人
- 雇用状況 : 20 人は専業の仕事を持っており、残りは兼業者である。

調査結果から得られた主な職業としては、15 人が民間企業に雇用されており、7 人が政府職員，6 人が農業従事者，4 人が商店主，3 人が家政婦，2 人が漁業従事者，1 人がタクシー運転手，1 人が炭売りであった。

- 世帯の平均年収 : \$1,500
- 世帯の負債 : \$100 以下
- 土地の所有 : 住居地については 100% 住居者の所有
- 建造物の所有 : 92%
- 家畜の所有（約 41% が自己所有）
- 飲料水の供給状況 : 87 % が飲料水を煮沸処理。供給は、46 % が建物内への継ぎ込みあり，36 % が溜り水，8 % が浅井戸，8 % が沼地の水を使用している
- 水使用上の問題 : 住民の多くが、臭，水質，無消毒の問題を提起している
- 移動性 : 69% の住民が 10 年以内に住居を移動した経験あり

- プロジェクト存在の認識 : 約 46 %がプロジェクトの存在に気づいていた
- 転居に関する期待 : 33 %はシアヌークヴィル市街地への移住を希望, 現金による代償希望が 95 %, 転居のための新地および共同社会機能希望が 59 %

3.4. 考古学的調査

考古学的調査は、プロジェクトの工程やコストに影響を与える様な考古学的資料の発見や発掘が、プロジェクトエリアで起こることのリスクにつき調査を行った。調査は考古学者とその支援員によって次の事項に関し行われた。

- (i) 文献調査
- (ii) サイト, 油パイプラインルート並びに Stage 3 建設用用地の現場調査
- (iii) 住民へのインタビュー
- (iv) 土壌のサンプリングおよび採掘調査。ただし、Stage 3 建設用用地は含んでいない。

詳細は調査結果は試掘の写真も含めて TEAM 報告書の Attachments 3-1 および 3-2 に報告されているが、下記の通り集約される。

- プラントサイトおよび油パイプラインルートについて
現地踏査と通じての調査結果および試掘結果の分析から鉄道線路沿いおよびプロジェクトサイト地域には、“地表あるいは地中の両方共”、考古学的価値のあるものの存在は認められない。
- Stage 3 建設用用地について
現地踏査と通じての調査結果および書物の分析から鉄道線路沿いおよびプロジェクトサイト地域には、“サイト近辺の地表付近でへらが発見されたけれども”、考古学的価値のあるものの存在は認められない。しかし、この土地に考古学的価値のあるものが存在しないことを確認するために、試掘を実施することを推奨する。

3.5. 陸上生物生態調査

3.5.1. 保護生物種の存在

プロジェクトエリアの野生の保護種深査調査は、国際文献、例えば“*IUCN’s Red Data Book*” やカンボディア国の農林・漁業省から出されている文献、例えば“*Declaration on the Species Listed of Wild Game Forbidden to be Hunted*” 等をベースに始めた。これらの文献からカンボディア国内で多分保護種として対象になるであろうと思われる包括的なリストを作成した。

この包括的リストをベースに、まず、対象となる種をこの地域で見たことがあるかどうかの地元住民への情報聴取を行い、実際に資格を持った生態学者によるサイトや油パイプラインルートでの観察調査も行った。Hun Sen Dam および Prey Treng Pond 地域で観察された数種の鳥類を除いて、リストにある種類の生物は、調査団により観測されなかったか、あるいは住民から最近見たという話は聞かれなかった。

このリストは、TEAM 報告書の 2.5.2.項および Attachments 4-1 ~ 4-3 に示されている。この表には、現地住民によりかなり以前に目撃されたことが報告されている国際的に保護種とされているフィッシングキャット（「情報不足」として分類されている）、虎、アジア象（両方とも「絶滅危惧 類」として分類されている）およびインドニシキヘビ（「絶滅危惧 類」として分類されている）も含まれている。

3.5.2. 樹木の目録

プロジェクトサイトの樹木目録作りの結果、10 cm DBH (胸部高での直径) より大きい幹径の樹木は 23 科 46 種、302 本であった。優性種は *Casuarina equisetifolia* (モクマオウ) でプラントサイト全体の 16% を締めている。

パイプラインルートに関する樹木の目録では、10 cm DBH 以上の樹木は、22 種 179 本となっている (Table 3.5-2 参照)。優占種は上記と同じ *Casuarina equisetifolia* で Area B 全体の 19% を占めている。地域毎の樹木数は TEAM 報告書に示されている (Table 2.5-1 および 2.5-2, Attachment 4-4 参照)。

Stage 3 建設用用地での調査は、安全上の理由から実施されなかったが、樹木種の構成は、プラントサイトとほぼ同様と判断される。

3.5.3. プラントサイト、残土処理地および油パイプラインルート調査

保護種については 3.5.2 項について記述済みであるのでそれ以外の種について記述する。

樹木以外の優占植物種とその度数は、乾季における草地での目視観察によって決められた。調査地域には主として次に示す 2 種のタイプの草地が存在することがわかった。

- (i) 草類だけが生息し得るやせた土地にできた牧草地
- (ii) 森林伐採した後生長して間もない草地

どちらの地域も優性種は、南アジア全体で共通に見られる太い多年生の先駆生物種である *Imperata cylindrical* である。その他良く見られる種として下記のものがある。

草地の中には、低木や若木が、特に水の通り路の近くに多く見られた。

3.6. 水質と水生生物生態調査

水質と水生生物生態調査は次に示す 3 個所で行われた。

- (i) Hun Sen Dam の貯水池内 (WAQF1 地点) (この水源はプロジェクトの乾季の補給水源として期待されている)
- (ii) 上記 Hun Sen Dam の下流域 (WAQF2 地点)
- (iii) プラントサイト脇の Prey Treng Pond (WAQF3 地点) (プロジェクトの水源として選定された)

3.6.1. 生物相の調査

生物相の調査は、乾季および雨季にそれぞれ 1 回ずつ実施され、プランクトン、ベントス、魚類、鳥類および根付きならびに浮遊性の植物の調査が含まれている。結果は下記の通り。

3.6.2. プランクトン(植物および動物性微生物)

雨季および乾季に採取したサンプルでは、水質は良好で、プランクトンの数および種類は、Hun Sen Dam および Prey Treng Pond 共、優性植物性プランクトン(植物性微生物)である緑藻が高い数値を示している。

乾季には 12 ~ 55 百万/m³ の範囲にあった植物プランクトンの細胞密度は、雨季には約

12 百万/m³ を示している。動物性プランクトン（動物性微生物）の密度は乾季には 165,000 ~ 323,000/m³ の範囲にあったが、雨季には 92,000 ~ 111,000/m³ の数値を示している。詳細については、TEAM 報告書の Attachments 5-2 および 5-3 に示す。

3.6.3. ベントス(水底に生息する生物)

ベントスは Ekman Dredge を使いサンプルし、分級フルイ (descending screen size) を使って底土から選別分けした。各地点とも、複数のサンプルを取りこれを選別する前に一緒にし処理した。

ベントスの密度は、Hun Sen Dam の方が、Prey Treng Pond より高い数値を示している（乾季には 1 平米あたり Hun Sen Dam は 264 個、Prey Treng Pond は、44 個で、雨季は、各々 1,650 個と 66 個であった）。詳細は、TEAM 報告書の Attachment 5.4 に示されている。

3.6.4. 魚 類

淡水魚のサンプル取得は、Hun Sen Dam および Prey Treng Pond の 2 個所で、網目の大きさを変えた刺し網を使って、雨季と乾季に行った。結果は、Table 3.6-1 および 3.6-2 並びに Fig. 3.6-1 に示すが、保護種については含んでいない。タイにおいて希少あるいは保護種とされている種類についての調査が実施され、TEAM 報告書の Attachment 5-8 として集約されている。

3.6.5. 水生植物

水生 (submerged) および抽水 (emergent) 植物に対する目視観察結果を Table 3.6-3 に示す。

3.6.6. 鳥類および他の動物相

鳥類の観察に関しては、Hun Sen Dam 近辺では、乾季に 24 種（8 種類の保護種を含む）が観察され、雨季には 21 種（6 種類の保護種を含む）が観察された。Prey Treng Pond では、乾季に 26 種（4 種類の保護種を含む）が観察され、雨季には 25 種（8 種類の保護種を含む）が観察された。保護種の写真は Fig. 3.6-2 に示し、詳細は、TEAM 報

告書の Attachment 5-16(B)に示す。Fig.3.1-7 に示している種類名は以下の通りである。

- PBS1 – Black-Capped Kingfisher – *Halcyon pileata*
- PBS2 – Lesser Coucal – *Centopus bengalensis*
- PBS3 – Oriental Magpie-Robin – *Copsychus saularis*
- PBS4 – Cinnamon Bittern – *Ixobrychus cinnamomeus*
- PBS5 – White-Throated Kingfisher – *Halcyon smyrnensis*
- PBS6 – Pacific Swallow – *Herundo tahitica*
- PBS7 – Hill Myna – *Gracula religiosa*
- PBS8 – Cotton Pygmy-Goose – *Nettapus coromandelianus*
- PBS9 – Cattle Egret – *Bubulcus ibis*
- PBS10 – Chinese Pond-Heron – *Ardeola bacchus*
- PBS11 – Little Heron – *Butorides striatus*
- PBS12 – Lesser Adjutant – *Leptoptilos javanicus*
- PBS13 – Grey Heron – *Adea cinerea*
- PBS14 – Lesser Whistling-Duck – *Dendrocygna javanica*
- PBS15 – Black-Callared Starling – *Sturnus nigricollis*
- PBS16 – Indian Roller – *Coracias benghalensis*
- PBS17 – Greater Coucal – *Centropus sinensis*
- PBS18 – Red Turtle-Dove – *Streptopelia tranquebarica*

調査団はその存在を確認していないがプロジェクト地域に生息することが現地住民により報告されている野生生物のリストは、TEAM 報告書の Attachment 5-15B に示す。リストに記されている 1 種である Red Muntija (学術名 *Muntiacus muntjak*) は、IUCN により絶滅危惧種として分類されている。他の 7 種はカンボディア政府により保護種として分類されている。それらは以下の通り。

- (i) Wild Pig (*Sus scrofa*)
- (ii) East Asian Porcupine (*Hystrix brachyura*)
- (iii) Indian Giant Flying Squirrel (*Petaurista phileppensis*)
- (iv) Siamese hare (*Lepus peguensis*)
- (v) Guar (*Bos gaurus*)
- (vi) Lesser Mousedeer (*Tragulus javanicus*)
- (vii) Sunda Pangolin (*manis javanica*)

3.6.7. 水質調査

各地点で直接採取されたサンプルを持ち帰り試験室にて分析した。測定・試験方法を Table 3.6-4 に、その結果を Table 3.6-5 に示す。

調査結果から WAQF1 および WAQF2 地点の水質は良好で、WAQF3 地点では波による影響（高数値の塩分）および入植による汚染（高数値のバクテリア）の存在が判明した。

乾季/雨季の Hun Sen Dam よりの水の使用は、現在のところ、炊事、庭園、魚釣り、洗濯、風呂および飲用に限られている。このダム下流の住民は、カニ、海老の貯蔵、船の係留、養漁業（網や手によるカニや魚の漁）に水を利用している。Prey Treng Pond 付近の住民は、この水を雨季/乾季共、洗濯、風呂、農業（とうもろこしおよびジャガイモ栽培）および飲用等家庭用に使用している。また、Prey Treng Pond の水は、Sokimex 石油ターミナルの設備用に送水されている。

3.6.8. フルイ分析

下層の分析の詳細結果は、TEAM 報告書の Attachments 5-12 および 5-13 に示されているが、下記の通り要約される。

0.074 - 0.42 mm 直径の小片は Prey Treng Pond で 87.9% ,Hun Sen Dam で 64.9%。0.0013 - 0.074 mm 直径の小片は、Prey Treng Pond で 12.1% , Hun Sen Dam で 35.1%であった。

3.6.9. 試験室での検査

試験室での検査は必要とされなかったが、分析はタイの基準に合致した試験室で実施された。

3.7. 海洋生物生態系および漁業調査

3.7.1. 港での漁業調査

シアヌークヴィル港と Stung Hav 港における漁業調査を、2000 年 9 月末から 2001 年 8 月初旬の間 8 回行った。この結果、プロジェクトサイトのある海岸域では広く漁業活動や漁獲が行われていることがわかった。調査結果は TEAM 報告書の Attachment 6-1 に纏められている。調査項目は、漁船の活動状況、漁場、陸揚げされた魚の合計とブレイクダウン、漁獲物の価値と売り先、その他産卵に関する情報等である。結果は以下に集約される通りである。

164 隻の漁船の操業者と 19 の港のオーナーにインタビューを行った。ほとんどの漁民は 1 年中漁業に従事している。雨季と乾季の漁獲量の違いはさほど大きいものではないが、強風の影響で雨季の漁獲量が多少落ちる。使用される道具は、トロール、漁網、カニ籠、イカ籠等である。好漁場は、Koah Rong、Koah Rong Samloem、Koah Thas、Koah Sdach、Thmor Sar および Koah Russy である。Sokimex 石油ターミナル付近は、漁業禁止区域であるが、魚の量は豊富であると言える。漁業産品は、プノンペン、シアヌークヴィルおよびタイへ持ち込まれる。

3.7.2. 海水魚の種類と保護種

調査期間中に 146 種類の魚を漁師および港のオーナーより取得した。各々の種類の写真とプロフィールは TEAM 報告書の Attachment 6-2 に示す。これは、カンボディアの漁業省により記録されている 183 種の海水魚の 80% を占め、プロジェクト地域の漁業の重要性を表している。

プロジェクト地域（約 30 km 半径内）の保護されるべき海水魚の写真およびプロフィールは、文献、61 人の漁師とのインタビュー、僅かではあるが直接の観察を通じて作成された。それらは以下の通り。

- マングローブ林に生息する *Rhizophora sp.* - MPS 14
- Seagrass（海水中で成長する植物） - MPS 16
- Mushroom 珊瑚を含む珊瑚礁 (*Fungia spp.*)、テーブル珊瑚 (*Acropora sp.*) および Sea Fans - MPS 15
- Whale Shark, *Rhiodon typus* - MPS 13
- 海亀：緑亀 (*Chelonia mydas*)
 - Hawksbill 亀 (*Eretmochelys imbricata*) - MPS 10
 - Loggerhead 亀 (*Caretta caretta*)
 - Olive Ridley 亀 (*Lepidochelys olivacea*)

- ジュゴン (MPS 12) を含む海洋生物および
- カンボディア水域に生息することが報告されている 10 種の鯨・イルカ

プロジェクトサイトの半径 30 km 以内に生息すると考えられるものは以下の通り。

Killer Whale (<i>Orcinus orca</i>)	MPS1
False Killer Whale (<i>Pseudorca crassidens</i>)	MPS2
Spotted Dolphin (<i>Stenella attenuata</i>)	MPS3
Common Dolphin (<i>Delphinus delphis</i>)	MPS4
Common Dolphin (<i>Delphinus capensis</i>)	MPS5
Bottlenose Dolphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	MPS6
Indo-Pacific Humpback Dolphin (<i>Sousa chinensis</i>)	MPS7
Irrasaddy Dolphin (<i>Orcaella brevirostris</i>)	MPS8
Finless Porpoise (<i>Neophocaena phocaenoides</i>)	MPS9

3.7.3. 海洋魚類プランクトン

魚類プランクトンのサンプルを、冷却水取入口、排出口の予定地近くの 6 個所で 8 回で合計 48 採取した。分析結果を Table 3.7-1 および Figs. 3.7-2 ~ 3.7-9 に示す。結果はこの地域は、魚類プランクトンが豊富であることを示している (42 種が確認され、その内 20 種は商品価値のある種)。魚類プランクトンの分布は取・排水設備直近地域の方が近傍の深層より低い。幼魚の豊富さには既設変動があり、乾季は雨季より約 3 倍豊富である。

3.7.4. 海洋植物性プランクトンおよび動物性プランクトン

海洋プランクトンは、PK1 および PK2 の 2 地点で雨季と乾季に採取した。結果は、好水質を示している。つまり、種類が多く (乾季 70 種, 雨季 85 種)、分布も好結果を示している (3.0 の範囲で分布)。詳細は、TEAM 報告書 Attachments 6-6 ~ 6-8 に示す。

3.7.5. 海洋ベントス(底部に生息する生物)

雨季と乾季に冷却水の取入口および排出口近くで、9 サンプルのベントス (海底に生息する生物) が採取され、試験室で記録, 調査した。採取および分析の結果は、Table 3.7-2 に示す。要約すると乾季には 11 種のベントスが観測され、雨季には 13 種が観

測された。取・排水口位置でのベントスの密度は乾季および雨季において各々1 m²あたり 300 ~ 1,216 個および 88 ~ 1,386 個であった。

雨季に取・排水設備近辺の海床とベントスの観測のため、潜水調査を実施した。BT2 と BT3 (排水設備) の間で 2 種の海草が観測された (Cymodocea serrulata および Halodule sp.)。海草床の近辺で 30 m 毎に 5 地点でサンプリングを行った結果、この地域の約 35% を海草が覆っていることが判明した。

3.7.6. 海床の化学 / フルイ分析

化学 / フルイ分析は、取・排水設備近辺で雨季に採取された海床のサンプルを用いて実施された。分析の結果は、Table 3.7-3 および 3.7-4 に示す。

3.7.7. 海水水質

冷却水の取入口および排出口に近い WQo1 および WQo2 の 2 個所にて海水の水質調査を実施した。調査は水面下 1m と海底より 1 m 上の 2 個所につき行い、一部の項目は現地にて直接計測すると共に、残りの項目はサンプルを持ち帰り試験室にて分析を行った。結果のまとめを Table 3.7-5 に示すが、プラントサイトの水質は非常に良いと言える。

魚類プランクトンの採取の一貫として、各採取地点での海面の塩分測定を実施した。採取調査の結果は、雨季には塩分濃度が低下する傾向を示している。

採取日	魚類プランクトン採取地点での塩分濃度(ppt)					
	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5	IP6
2000年9月30日	24	25	31	30	30	31
2000年10月28日	25	26	30	26	26	25
2000年12月2日	34	34	33	32	33	34

2001年1月6日	33	32	35	32	32	33
2001年2月1日	34	30	32	31	30	30
2001年6月16日	32	34	30	31	32	33
2001年7月6日	15	15	16	16	16	16
2001年8月4日	24	24	24	24	24	24

3.8. 大気性状および騒音調査

3.8.1. 主な大気汚染源の目録作成

現状の大気性状把握のための作業の一部として、30 km 半径内の District 毎の汚染物排出源の調査を行った（30 km半径の際にある Sre Ambel および Botum Sakor District の端地は除いている）。この調査の結果から、シアヌークヴィル港と Sokimex 石油ターミナルのような一部の例外を除いて、工業開発の規模は非常に小さく、地域の大気汚染に大きな影響を与える汚染源は存在しないことが判明した。この地域の主要な産業は、魚食品、漁醬、冷凍魚、木材、採石、煉瓦造り、発電所、飲料水、ヤシ油、タピオカ（食用のでん粉）、製パン、製氷、靴・縫製業等である。詳細は、TEAM 報告書の Attachments 7-1 ~ 7-5 に示す。

3.8.2. 大気性状調査

AQ1 および AQ2 の 2 個所で、雨季と乾季に 24 時間計測で、大気中の硫黄酸化物 (SO₂) および窒素酸化物 (NO₂) の計測を行った。AQ1 は Stung Hav にある Tamnop Rolok 小学校内で、AQ2 はシアヌークヴィル市にある気象観測所 (Sihanoukville Meteorological Station) 内である。サンプリングおよび分析はタイの OEPP (Office of Environmental Policy and Planning) が定めた方法・手順に準じて行われた。

大気は Impinger で採取され、SO₂ は Pararosaniline Method で、NO₂ は Sodium Arsenate Method によって計測された。

結果は、両地点とも、SO₂およびNO₂はカンボディアの基準および世界銀行の指針よりかなり低い。SO₂は、計測した2地点（希少観測所および小学校）で各々2.45-2.94 μg/m³および5.79 - 9.03 μg/m³で、NO₂は、45.75 - 65.92 μg/m³および2.27 - 4.95 μg/m³であった。カンボディアの大気基準は、SO_xの24時間最大値500μg/m³、NO_xは、300 μg/m³である。世界銀行の大気性状ガイドラインでは、SO_xの24時間最大値125 μg/m³、NO_xは、150 μg/m³である。

3.8.3. 騒音調査

NM1、NM2およびMN3の3個所にて、雨季と乾季に、24時間連続の騒音計測を行った。NM1はプラントサイト内、NM2はサイトの南にある Prey Treng Pond 近くの集落内、NM3はサイトの北にある Sokimex 石油ターミナル近くである。計測は Integrating Sound Level Meter (NL-04) を使い、24時間毎の毎時平均値の計測を行った。騒音源となるトラックや列車の通過事象を記録し、1時間毎に合計している。

結果を Table 3.8-1 に示す。調査結果からは、プロジェクトサイトの騒音は低いと言える。計測した最高値の騒音は60dB(A)以上であり、トラックおよび列車の通過と強く関連している。

3.9. 温排水拡散シミュレーション

3.9.1. 潮流計測機器の調達

30分間隔の海水の温度、潮流の計測をするために Falmouth Scientific Inc., USA 製の2次元音響潮流計 (2-Dimensional Area Current Meters) を2台購入した。機器の仕様を TEAM 報告書の Attachment 8-2 に示す。

3.9.2. 海水温度、潮流および伝導度の測定

海水温度、潮流および方向の計測は、CT1（プラントサイトの南西約2 km）、CT2（プラントサイトの西約0.5 km）およびCT3（プラントサイトの北西約3 km）の3地点で実施した。各サンプルポイントにおける潮流計の設置方法を TEAM 報告書の Attachments 8-3 および 8-4 に示す。計測は、2000年10月～2001年8月の間に15日間

海水面近くと海底より 1 m 上の 2 つの異なった深さで行った。雨季および乾季の計測の結果は、各々 Tables 3.9-1 および 3.9-2 に示す。

3.9.3. インプットデータ

本報告書の別の章に示している Bathymetric 図は、シミュレーションモデル用の水深を決めるために用いられた。シアヌークヴィル港で入手した 2000 年 10 月～2001 年 2 月および 2001 年 7 月～8 月の潮位からシアヌークヴィル港とサイトの相関性を求め、シミュレーションに用いた。1 日 4 回しか計測されていないが、シアヌークヴィル気象観測所で観測された 2000 年 10 月～2001 年 2 月および 2001 年 7 月～8 月の風況データ（風速および 16 方向の風向）もシミュレーションに使用された。

プラント関連インプットデータとしては、プロジェクト諸元に記されているプラント本体、冷却システム概要に加え、下記の設計および運転条件を用いた。

発電所出力	: 3 × 90 MW
排水量	: 3 × 2.5m ³ /s
温度上昇	: 7°C
取水口設備	
・取水口の数	: 3 (90 MW あたり 1)
・型式	: 海中タワー
・取水口位置での水深	: 5 m
・直径	: 8.4 m
・高さ	: 海底より 2.1 m
・設備間の距離	: 30 m
放水口設備	
・ノズルの数	: 6 (90 MW につき 2)
・型式	: 海中強制放出タイプ
・設備位置での水深	: 5 m
・ノズル直径	: 0.85 m
・設置高	: 海底より 1m
・ノズル角	: 上方向へ 5 度
・排水量	: 1.25 m ³ /ノズル
・ノズル間の距離	: 10 m

3.9.4. 計算モデル AQUASEA

シミュレーション計算に使用するモデルは“AQUASEA”と称するモデルである。これは Galerkin の有限要素を使用し比較的浅い場所の水流移動を計算する 2 次元ソフトである。このソフトは、水力流動および遷移拡散の 2 つのモジュールから構成されている。

水力流動モジュールは、水位の変化と、湖、河口、湾や海岸における種々の強制作用に応じた流れをシミュレートすることができる。水の深さと流れは、1 個の計算単位格子内では一様とみなされ、水深データ、水底摩擦抵抗値、風データや境界条件に関する情報をベースに計算される。

遷移拡散モジュールは、流体の流れと、進行中の拡散過程の影響下にある周囲の物質の広がりをシミュレートする。

実際のインプットデータと含むモデルおよび運転条件は、TEAM 報告書の Attachments 8-1 および 8-5 ~ 8-11 に示されている。

タイの既設プラント（南部タイの Khanom 火力発電所）の実測値との比較を 2001 年 9 月に行い、結果を TEAM 報告書の Attachments 8-13 および 8-14 に示す。

3.9.5. シミュレーション結果

最終発電容量 270 MW 時に対して 4 ケースの計算を行った。各計算は拡散が定常状態になるまで行われ、全てのケースともプラントの運転時間で約 100 時間で定常に達した。季節による違いを見る為、雨季に対し 2 ケース、乾季に対して 2 ケースの計算を行った。各季節の計算とも、温水塊の浮力による上昇が温水塊の位置および大きさに応じてどのように影響するのかについての一般的な指標を得る為、1 ケースは深さ方向全体に対する計算（温水塊が水面から水底まで一様に分布していると推定する）、他のケースは 2.5 m 深さに対する計算（温水塊の深さは 2.5 m に限定され、2.5 m 深さまでは温水塊が一様に分布していると推定する）を行っている。

各ケースの計算結果を、Figs.3.9-1 ~ 3.9-4 に示す。

各ケースの温度上昇に対応した温水塊の概略の大きさと最大到達距離の関係をまとめ下記に示す。

ケース 1: 乾季の全深さに対する温水塊の概略の大きさ (km²)と最大到達距離 (m)

温度上昇 °C	潮だるみ時 km ²	満潮時 km ²	引潮時 km ²
1.5	0.01	0.01	0.01
1.0	0.16	0.20	0.08
0.5	0.56	0.72	0.51

温度上昇 °C	潮だるみ時 m	満潮時 m	引潮時 m
1.5	100	100	200
1.0	300	300	300
0.5	500	900	1,200

ケース 2: 乾季の 2.5 m 深さに対する温水塊の概略の大きさ (km²) と最大到達距離 (m)

温度上昇 °C	潮だるみ時 km ²	満潮時 km ²	引潮時 km ²
2.0	0.03	0.04	0.01
1.5	0.20	0.20	0.03
1.0	0.48	0.48	0.48
0.5	1.10	1.20	0.95

温度上昇 °C	潮だるみ時 m	満潮時 m	引潮時 m
2.0	300	300	200
1.5	400	500	300
1.0	600	600	1,000
0.5	1,100	1,200	1,400

ケース 3: 雨季の全深さに対する温水塊の概略の大きさ (km²) と最大到達距離 (m)

温度上昇 °C	潮だるみ時 km ²	満潮時 km ²	引潮時 km ²
1.5	0.06	0.09	0.10
1.0	0.15	0.20	0.20
0.5	1.0	1.2	0.8

温度上昇 °C	潮だるみ時 m	満潮時 m	引潮時 m
1.5	100	300	400
1.0	300	500	500
0.5	1,500	1,250	1,600

ケース 4: 雨季の 2.5 m 深さに対する温水塊の概略の大きさ (km²) と最大到達距離 (m)

温度上昇 °C	潮だるみ時 km ²	満潮時 km ²	引潮時 km ²
1.5	0.08	0.12	0.20
1.0	0.56	0.56	0.48
0.5	2.50	2.25	2.20

温度上昇 °C	潮だるみ時 m	満潮時 m	引潮時 m
1.5	250	500	680
1.0	1,300	1,000	1,000
0.5	2,700	1,850	2,500

参考とした Khanom 発電所での温水拡散の実測結果から判断すると、シアヌークヴィル発電所に対しては、ケース 2 およびケース 4 の 2.5 m 深さに対する計算結果の方が、ケース 1 およびケース 3 よりもより近い相関性を示している。

全てのケースとも、温水塊は周囲温度プラス 2°C 上昇以下に速やかに温度低下している。従って、世界銀行が示している温水拡散の基準（排出源から 100 m の所で 3°C を超えない）は簡単に満足されると思われる。実際には温水塊の浮上は予想より早い可能性もあるので、その時は、範囲はもっと大きくなる。プラス 3°C の表面の薄い層の状態は Khanom 発電所での実測結果とは一致していない（Khanom 発電所は、発電所規模で 2 倍以上、排出方式は拡散ノズルでの混合促進が無い表層放水、また、温水の温度上昇は大きく 8°C）。Khanom では、3°C の温度上昇の温水は、排出口から丁度 100 m 超える距離では深さ 2.0 m まで達しており、排出口から 200 m の位置での温度上昇 2.5 から 2.8°C の温水はより浅く約 1.0 m の深さとなっている。シアヌークヴィル発電所は、発電容量も小さく、また冷却水の温度上昇も小さく、更に、拡散促進のノズルを採用しているので、上記した世界銀行の混合域に対するの制限基準は楽々満足するであろう。

温水拡散シミュレーションの結果と Khanom 発電所での実測結果との比較から判断すると、温水排出による温度上昇は比較的小さく、また、拡散範囲もプロジェクト近くの海岸の狭い範囲に限定されているので、漁業に与える影響は殆ど無いと思われる。0.5°C の温度上昇範囲は潮だるみ時のケース 4 では 2.5 km² とかなり広いが、これでも解析範囲 900 万 m² (6 km × 3 km) の僅か 0.03 % に過ぎない。

温水拡散シミュレーションの結果からは排出温水の冷却水取入口への再循環の可能性の問題についてはあまりハッキリした結果が得られていない。4 ケースの計算結果では、温水塊の形状はいずれも潮の流れに応じて南北に脈動している。温水塊の大きさは乾季よりも雨季の方が大きく、僅かの温度上昇 (+ 0.5°C ~ 1.0°C、稀に + 1.5°C) の層は、引潮が北方向に動いている時に少なくとも 2 ~ 3 時間、しばしば冷却水取入れ口の位置を超えて拡がっている。AQUASEA Model の解析では、この僅かの温度上昇 (+ 0.5°C ~ 1.0°C) の温水塊が、冷却水取入れ口から吸い込まれるほどの深部にまで拡がっているかどうかは判断できない。Khanom 発電所での実測結果では、2 m 深さで 0.6°C 上昇の温水は排水口から 400 m の所まで達していたので、これから推測するとシアヌークヴィル発電所では 0.5°C 上昇程度の温水が再循環する可能性は有りそうである。

3.10. 排ガスの拡散計算

3.10.1. シミュレーションモデル

USEPA Screen 3 Model およびワーストケースの大気安定クラスを用いた大気性状の2回にわたるテストランに続いて、USEPA Industrial Source Complex 3 model (ISC3)を用いたシミュレーションを実施した。このモデルは、産業関連の様々な汚染物質の濃度を評価するために用いる定常ガウスプルームモデルと呼ばれているものである。このガウスプルームモデルは次の事項を考慮した検討が可能である：関与するパラメータと状況、例えば、粒子の沈降や乾燥沈着、ダウンウォッシュの影響、面状、線状および容積状の排出源：風下距離をパラメータとする煙上昇高さ：複数点源の分割。また、長期および短期両方の計算にも使用できる。

実際のインプットデータを含むモデルの設定とシミュレーションの結果は、TEAM 報告書 Attachments 9-1 ~ 9-6 に示されている。

3.10.2. シミュレーションケース

シミュレーションは、Stage 毎の環境への影響、燃料の違いによる差、排出システムの違いによる差を見る為、多数のオプションにつき実施した。用いたオプションは、下記の通り。

- | | | |
|-------------------------------------|---|---|
| 2 タイプの燃料 | : | 天然ガス, ディーゼル油 |
| 2 タイプの煙突形状 | : | 90 MW あたり 3 本の煙突 (Option I)
90 MW あたり 1 本の煙突 (Option II) |
| 天然ガスおよび Option I 用の 4 タイプの煙突の高さ: | | 30 m, 40 m, 50 m, 65 m |
| 天然ガスおよび Option II 用の 3 タイプの煙突の高さ: | | 30 m, 40 m, 50 m |
| ディーゼル油および Option I 用の 6 タイプの煙突の高さ: | | 30 m, 40 m, 50 m, 75 m, 100 m, 145 m |
| ディーゼル油および Option II 用の 5 タイプの煙突の高さ: | | 30 m, 40 m, 50 m, 70 m, 120 m |
| 3 段階のプロジェクト開発 | : | 90 MW (Stage 1 工事), 180 MW (Stage 2 工事),
270 MW (Stage 3 工事) |
| 地表 NO ₂ 濃度 (3 種) | : | 1 時間, 24 時間, 年平均 |

地表 SO ₂ 濃度 (3 種)	:	1 時間, 24 時間, 年平均
地表 CO 濃度 (2 種)	:	1 時間, 年平均
地表 TSP 濃度 (2 種)	:	24 時間, 年平均

3.10.3. 煙突特性および排出量

様々なケースのシミュレーションを行うために入力した煙突特性および排出量は、Table 3.10-1 に集約している。

3.10.4. シミュレーション結果

結果を要約すると下記の通り。

- 調査した全ての汚染物質について、最大地上濃度は、プラントサイトの東および南東の丘の上で発生する。
- シアヌークヴィル市街、Sokimex 石油ターミナルおよび Stung Hav (受容地域)での地上濃度は、上述の丘の上での最大濃度に比べて著しく低い。
- 1 Stage あたりに 1 本の集合煙突の方が、1 Stage あたり 3 本の個別煙突より大気中の拡散には適している。
- クリアすべき最も困難な基準は、ディーゼル油焼き時の NO₂ 1 時間値である。
- 硫黄分含有量 0.2% 以下のディーゼル油を使用する時、全てのカンボディアの基準値を満足するオプションは、50 m 高さの集合煙突 (各 Stage に対し 1 本, 合計 3 本) であった。

Fig.3.10-1~5 に地形図上に示した等濃度線の例を参考に示す。